

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

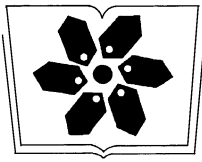
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110261599

周福芳, 史秀华, 邱国玉, 徐华林. 深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究. 生态学报, 2012, 32(20): 6511-6519.

Zhou F F, Shi X H, Qiu G Y, Xu H L. A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6511-6519.

深圳湾不同生境湿地大型底栖动物 次级生产力的比较研究

周福芳¹, 史秀华^{2,*}, 邱国玉¹, 徐华林³

(1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518055; 2. 深圳大学高尔夫学院, 深圳 518060;

3. 广东内伶仃福田国家级自然保护区, 深圳 518040)

摘要:以深圳湾红树林为例,于 2010 年 1—12 月每月 1 次对红树林和 3 种对照生境(芦苇鱼塘、基围鱼塘和光滩)的大型底栖动物进行了采样调查,并对其次级生产力、P/B 值(次级生产力与生物量的比值)、优势种和生物多样性进行了计算与分析。结果表明,不同生境大型底栖动物群落次级生产力和 P/B 值差异明显,芦苇鱼塘、基围鱼塘、光滩和红树林生境的次级生产力分别为:6.81、147.50、74.70 和 105.78 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;P/B 值分别为:1.10、1.53、1.41 和 3.58 a^{-1} 。红树林生境的次级生产力较高,仅次于基围鱼塘,P/B 值显著高于其他 3 种生境,周转速率最快。结合大型底栖动物优势种和生物多样性的季节变化分析表明,红树林生境大型底栖动物生物多样性最丰富,生态系统抵抗力和恢复力最高,生态系统最稳定。由此说明城市化地区红树林生境对大型底栖动物周转速率和物种多样性有明显促进作用,可以增加生态系统营养的保持力和生态系统的稳定性,对于缓解城市化对湿地生态系统造成的威胁具有重要作用。

关键词:大型底栖动物;次级生产力;P/B 值;季节变化;红树林

A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay

ZHOU Fufang¹, SHI Xiuhua^{2,*}, QIU Guoyu¹, XU Hualin³

1 School of Environment and Energy, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

2 College of Golf Management, Shenzhen University, 518060, China

3 Conservancy of Neilingding Futian State-class Reserve, Shenzhen 518040, China

Abstract: Secondary productivity is an important indicator of the variation of the structure, function and stability of an ecosystem. The goal of this study was to test the hypothesis mangrove habitat promotes the production of macrobenthos and increases ecosystem stability under the influence of urbanization. We collected samples monthly in four basic habitats, *Phragmites communis* reed beds with frequently inundated soil (reed beds), gei wai ponds, mudflats, and mangrove habitat, and analyzed the secondary productivity of macrobenthos, the production/biomass (P/B) ratio, and the dominance and the diversity of macrobenthos from January to December of 2010. The results show secondary productivity in these four habitats varied widely. The secondary productivity in reed beds, gei wai ponds, mudflats, and mangrove habitat was 6.81, 147.50, 74.70, and 105.78 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, respectively; and the P/B ratios were 1.10, 1.53, 1.41, and 3.58 a^{-1} , respectively. Secondary productivity in the mangrove habitat was only lower than in the gei wai ponds, while mangroves had the highest P/B ratio, meaning the turnover rate was fastest. The seasonal variation of secondary productivity among the four

基金项目:国家林业局 948 项目(2008-4-38);国家自然科学基金(91025008);国家自然科学基金(30972421)

收稿日期:2011-10-26; 修订日期:2012-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shxh100@163.com

habitats also varied; gei wai ponds had the highest secondary productivity and it remained relatively stable all year. The other three habitats had the same trend with secondary productivity high in spring and autumn, and lowest in summer. The seasonal variation of the P/B ratio in geiwai ponds and reed beds was relatively stable, while the mangrove and mudflat habitats had the same trend with higher P/B in spring and autumn, and lowest in summer. The species composition and dominance in the four habitats were significantly different seasonally. Reed beds were dominated by two gastropods, *Cerithidea cingulata* in spring and summer, and *Melanoides tuberculata* in winter. The gastropod *Sermyla riqueti* dominated gei wei ponds all year. The dominant species of mudflats were *Nereis glandicincta* in summer, *S. riqueti* in autumn, *S. riqueti* and *Cipangopaludina chinensis* in winter. Mangroves were dominated by *Ellobium aurismidae* in summer and autumn and *Uca urvillei* in winter. The macrobenthic diversity also varied seasonally in the four habitats. The level of biodiversity in the four habitats was mangrove > mudflats > gei wai ponds > reed beds, with mangroves having the highest diversity in all four seasons. The seasonal variation of macrobenthic diversity in gei wai ponds and reed beds was relatively stable, while the mangrove and mudflat habitats had the same trend with lowest biodiversity in summer and higher in autumn, that may be resulted by tropical storm. The increase of macrobenthic productivity, the P/B ratios and biodiversity in the autumn than in the summer is biggest in mangrove habitat. Based on the analysis of the macrobenthic productivity, the P/B ratios, and the seasonal variation of the macrobenthic dominance and diversity, we concluded the mangrove habitat had the highest biodiversity, ecosystem resistance to change and resilience, and conclude the mangrove ecosystem was the most stable ecosystem. Above all, the mangrove habitats played a significant role in promoting species diversity for macrobenthos, improving the turnover rate, and in increasing both ecosystem nutrient retention and stability which reduced urbanization threats to the health of the ecosystem.

Key Words: macrobenthos; secondary production; P/B ratio; seasonal variation; mangrove

红树林是生长在热带和亚热带低能海岸潮间带上的主要植被^[1],是世界上拥有较高生物多样性的“高产生态系统之一”^[2-3]。然而随着人类活动影响强度增大,工业化和城市化带来的环境污染,导致了红树林生态系统面积及其生物多样性的丧失^[4-5]。深圳湾红树林是世界上唯一位于城市中心区的国家红树林自然保护区湿地^[6],30多年来随着深圳市经济的迅速发展,城市化进程中产生的工业污染物、生活污水沿深圳河、凤塘河、新洲河及地下管道的排放,深圳湾生态环境正在遭受越来越严重的威胁,因此深圳湾红树林湿地的环境保护和研究越来越受到人们重视^[7]。红树林修复工程正在大规模实施,但对于大型底栖动物的研究相比生态系统中的其他组成成分相对缺乏^[8]。

大型底栖动物(Macrobenthos)是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部,不能通过0.5 mm孔径网筛的水生动物类群,是湿地红树林生态系统的重要组成部分,作为生态系统物质循环和能量流动的消费者和转移者,是生物地球化学循环中重要的一环^[9]。大型底栖动物取食浮游生物、底栖藻类和有机碎屑等,本身又是其他鱼类和鸟类的食物,所以,大型底栖动物的状况会直接影响其他物种的生存和繁殖,其物种多样性和群落的稳定有助于维持湿地生态系统的健康发展^[10]。动物和其它异养生物靠消耗植物的初级生产量制造的有机物质或固定的能量,称为次级生产量,其生产或固定率称为次级生产力。大型底栖动物群落的生产力比生物多样性、生物量和密度参数更能反映生态系统的功能和结构变化^[11]。因此研究大型底栖动物群落的生产力,对于促进红树林生态系统的健康发展,预警生态系统的退化具有重要意义。

前人对大型底栖动物的研究多集中在大型底栖动物的特征,群落结构和个别物种上^[12-15],随着人类活动、全球变暖等对环境影响的加强,将大型底栖动物的次级生产力与生态系统所受的干扰结合起来研究成为趋势和热点,Dolbeth M等通过研究大型底栖动物次级生产力的长期变化反映了人类活动和自然干扰对河口湿地生态系统退化的影响^[16]。国内对大型底栖动物次级生产力进行了初步研究^[17-18],但多集中于海域及泥滩,对于红树林及其他生境的大型底栖动物次级生产力研究较为少见。

受城市化影响严重的湿地生态系统,特别是受水体和底泥污染比较严重的情况下,红树林植物的存在是否会缓解城市化对生态系统造成的影响?目前尚没有实验得出明确的定论。因此,本文通过红树林及不同生境的大型底栖动物对比研究,以期了解城市化地区红树林湿地生态系统的作用,同时也为掌握红树林生态系统结构、功能和稳定性的变化,进而为保护红树林生态系统提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

深圳福田红树林保护区位于深圳湾东北岸,东起新洲河口,西至海滨生态公园,西北边界至滨海大道,南达滩涂外海域和深圳河口,东北边界至广深高速公路,地理坐标约为 $113^{\circ}58'—114^{\circ}05' E$, $22^{\circ}30'—22^{\circ}34' N$,现总面积为 367.64 hm^2 。本区属东亚季风区、亚热带季风海洋性气候区。全年平均气温 $22.4^{\circ}C$,年平均降雨量 $1700—1900 \text{ mm}$,年蒸发量 $1500—1800 \text{ mm}$,年平均相对湿度为 80% 。全年日照时数约 2000 h 。潮汐属不规则半日潮,但潮差不大。

保护区内生境类型多样,主要由红树林、光滩、基围鱼塘、芦苇鱼塘和陆地植被组成。红树林呈带状分布,面积 103.03 hm^2 。光滩表面无植被覆盖,沉积物以泥为主,面积为 61.95 hm^2 。基围鱼塘属于养殖生态系统,面积为 55.96 hm^2 ,芦苇鱼塘密生芦苇植被,面积较小^[19]。以上这4种生境均有大型底栖动物栖息,因此本研究选取芦苇鱼塘、基围鱼塘和光滩生境作为红树林生境的对照,对这四种具有代表性生境类型中的大型底栖动物次级生产力进行研究。具体4生境采样点 S1($22^{\circ}31'06''N$, $114^{\circ}01'43''E$)、S2($22^{\circ}31'13''N$, $114^{\circ}01'25''E$)、S3($22^{\circ}31'19''N$, $114^{\circ}00'46''E$) 和 S4($22^{\circ}31'22''N$, $114^{\circ}00'52''E$) 的位置如图1所示。

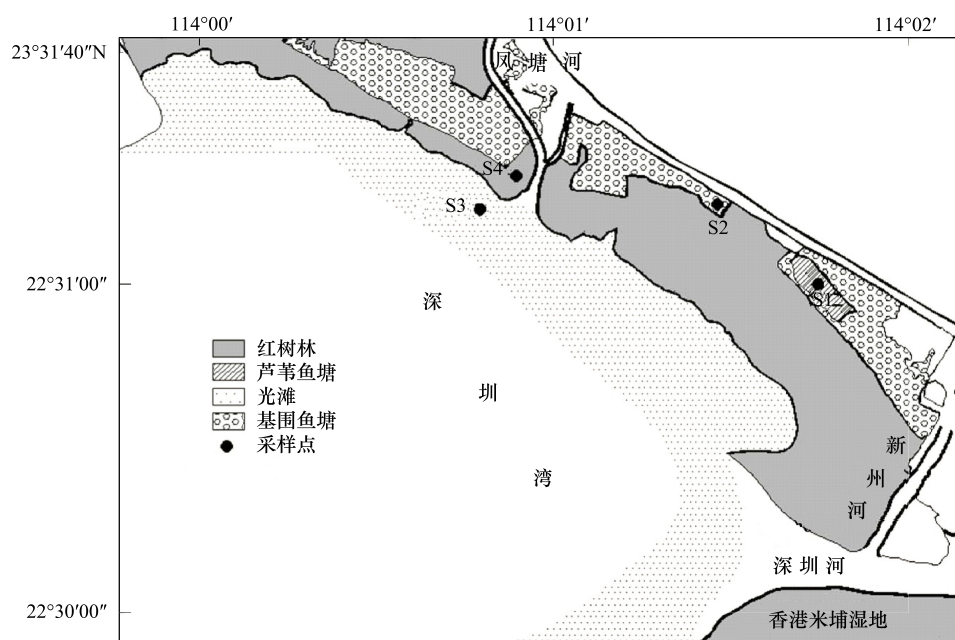


图1 深圳湾红树林自然保护区大型底栖动物采样点位置

Fig. 1 Location of the sampling sites of macrobenthos in Futian Mangrove, Shenzhen

1.2 取样方法及样本处理

2010年1—12月,对4种生境的大型底栖动物进行每月一次的野外取样,取样时间选择在退潮期间。每个样点采用直径 10 cm 、深 20 cm 的塑料管随机、连续采集3管泥样,用孔径 0.5 mm 的分样网筛加水清洗过滤,滤出的生物及残余的底泥用 5% 的甲醛固定,带回实验室进行分类鉴定(所获底栖动物标本大部分鉴定到种,少数鉴定到属),并详细记录鉴定的每种的数目和湿重。

1.3 计算方法

次级生产力的计算根据 Brey 的经验公式^[20]: $\lg P = -0.4 + 1.007 \lg B - 0.27 \lg W$,式中, P 为大型底栖动

物次级生产力 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B 为大型底栖动物年平均去灰干重生物量 (g/m^2), 生物量湿重的 1/5 作为干重, 干重的 9/10 作为去灰干重 (Ash-free dry weight, AFDW)^[21] (文中出现的生物量及次级生产力均采用去灰干重表示); W 为大型底栖动物个体年平均去灰干重 ($\text{g}/\text{个体}$), 可表示为: $W = B/A$, A 为每站大型底栖动物年平均栖息密度 (个体/ m^2)。为方便计算, 将 Brey 经验公式转换为: $P = A^{0.27} \times B^{0.73}/100.4$, 计算各生境地的大型底栖动物的次级生产力。

优势度指数^[22]计算公式 $D = (n_i/N) \times f_i$, 式中, n_i 为 i 种的总个体数; N 为所有种的个体总数; f_i 为种类 i 在群落中出现的频率; 计算得到 $D > 0.02$ 的为优势种。

Shannon-Wiener index 多样性指数: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$, 式中 S 为总种数, P_i 为种 i 的个体数占总个体数的比例。

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物次级生产力及 P/B 值

4 生境型大型底栖动物群落 12 个月的平均栖息密度、平均生物量、年均次级生产力和 P/B 值, 如表 1 所示。其中 P/B 值是生产力与生物量的比值, 是种群最大可生产量的指示值, 指示生物量轮回的次数, 其值大小与生物的生命周期密切相关^[23]。P/B 值越高, 大型底栖动物周转速率越快, 一定程度上表征生态系统的恢复力越强。

表 1 4 种生境类型的大型底栖动物次级生产力和 P/B 值

Table 1 The productivity and P/B ratio of macrobenthos in four habitats in Shenzhen Mangrove Reserve

生境类型 Habitat types	栖息密度 Density /(个/ m^2)	生物量 Biomass /(g/m^2)	次级生产力 Productivity /($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	P/B /(a^{-1})
芦苇鱼塘 Reed beds	264.21	6.44	6.81	1.06
基围鱼塘 Gei wai ponds	14437.40	96.33	147.50	1.53
光滩 Mudflats	3906.58	83.44	74.70	0.90
红树林 Mangrove	1062.66	49.59	105.78	2.13

从表 1 可以看出, 4 种生境的次级生产力大小为: 基围鱼塘 > 红树林 > 光滩 > 芦苇鱼塘。芦苇鱼塘生境的大型底栖动物次级生产力最低, 仅为 $6.81 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 这是因为在芦苇生境中仅采集到少量的拟蟹守螺 *Cerithidea* sp.、瘤拟黑螺 *Melaniodes tuberculata*、珠带玉蟹守螺 *Cerithidea cingulata* 等, 年均栖息密度和生物量均显著低于其他生境类型, 这可能与芦苇密集的根系不利于大型底栖动物的呼吸作用和活动, 与大型底栖动物争夺养分等因素有关, 表明芦苇鱼塘生境的大型底栖动物群落抵抗力和恢复力均相对较弱。基围鱼塘生境的大型底栖动物年均栖息密度高达 14437.4 个/ m^2 , 因此次级生产力最高, 为 $147.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, P/B 值为 1.53 a^{-1} , 但主要栖息的是周转较快的软体动物, 物种较为单一。光滩生境的大型底栖动物栖息密度、生物量和次级生产力均处于中等水平, 次级生产力为 $83.44 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, P/B 值为 0.90。年均世代更替率为 1.1 年每代, 相对周转速率最慢。红树林生境的大型底栖动物次级生产力较高, 为 $105.78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, P/B 值最高为 2.13 a^{-1} , 年平均世代更替率最快, 为 0.5a/代。红树林生境大型底栖动物次级生产力较高, 世代更替速率最快, 表明红树林生境下的大型底栖动物群落构成的生态系统抵抗力和恢复力最大, 稳定性最高, 这可能是红树林生境栖息的底栖动物多样性较高, 食物网重叠复杂的原因。

将本调查研究的四生境大型底栖动物的次级生产力和 P/B 值与其它海域的结果比较, 如表 2 所示。深圳湾的次级生产力明显要高于 Lynher 河口、海坛海峡、胶州湾、深沪湾沙滩。不同海区环境特征各异, 温度、溶氧、底质类型、食物与捕食关系等条件地域差异都可能是反映次级生产力水平的因素。深圳湾的次级生产力 (除芦苇鱼塘外) 最高, 主要原因可能是与深圳湾的高粘土、有机质含量, 营养丰富有关。潮间带底栖生物受潮水涨落的扰动较强, 生物生存与生产过程受到限制, 基围鱼塘生境相对封闭, 几乎不受潮汐影响, 所以深

圳湾基围鱼塘大型底栖动物次级生产力最高;而胶州湾处于水深 7 m 水域,生物量和次级生产力较低,这可能与水深导致的溶氧低、光照弱、温度低等因素有关。深圳湾红树林区的 P 值较高,P/B 值显著高于其他生境和地区,这是因为红树林及其碎屑为底栖动物提供了丰富的食物来源,底栖动物又成为鸟类和鱼虾蟹的饵料,鸟粪可作为红树林的肥料,多毛类和蟹类对泥滩的翻耕作用又为红树林提供了良好的栖息环境,良性的互动促进了红树林大型底栖动物的繁殖、生长和物种多样性。

表 2 深圳湾四生境大型底栖动物平均生产力与其他海域的比较

Table 2 Comparison of the mean secondary production in the four habitats with that from other seas

海区 Sea area	水深 Water depth / m	生产力 Productivity / ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	P/B / (a^{-1})
深圳湾芦苇 Shenzhen Bay reed beds	潮间带	6.81	1.10
深圳湾基围鱼塘 Shenzhen Bay Gei wai ponds	1	147.50	1.53
深圳湾光滩 Shenzhen Bay mudflats	潮间带	74.70	0.90
深圳湾红树林 Shenzhen Bay mangrove	潮间带	105.78	2.13
Lynher 河口 Lynher estuary ^[24]	潮间带	13.31	1.01
海坛海峡 Haitan Strait ^[25]	潮间带	3.72	1.74
胶州湾 Jiaozhou Bay ^[18]	7	13.41	1.05
深沪湾沙滩 Shenhui Bay ^[26]	潮间带	48.79	1.30

2.2 季节变化

2.2.1 群落次级生产力及 P/B 值的季节变化

4 种生境的大型底栖动物生产力和 P/B 值季节变化特征如图 2 所示。4 生境中的芦苇鱼塘大型底栖动物的次级生产力和 P/B 值一年四季都远低于其他 3 种生境,且春季次级生产力显著高于其他季节,P/B 值季节间变化不明显。基围鱼塘、光滩和红树林次级生产力的季节变化特征一致表现为:春季较高,夏季最低,季节变化明显,P/B 值的季节变化表现为:基围鱼塘季节变化不明显,而光滩和红树林较明显,均呈现为春秋季节较高,夏冬季最低。4 种生境的季节变化差异说明温度变化可能不是引起大型底栖动物周转繁殖速率的最主要因素,夏季由于热带风暴的影响,降雨和河流来水增多,水体盐度降低,冬季降雨较少,盐度升高等因素极可能是大型底栖动物 P/B 值变化的主要原因。

芦苇鱼塘生态系统栖息的大型底栖动物种类和数量都很少,群落稳定性较差,所以 P 值、P/B 值均显著低于其他 3 种生境。其次级生产力出现春季较高,秋季较低的季节波动,可能是因为芦苇根茎在春季大量发芽,为大型底栖动物提供丰富的食物,促进了大型底栖动物的生长繁殖,而芦苇在秋季开花,耗去根系周围大量养分,不利于底栖动物的生长。基围鱼塘次级生产力最高,四季变化不明显,可能一方面因为该生境四周封闭,受外界干扰小,为大型底栖动物的生存繁殖提供良好条件;另一方面,基围鱼塘主要栖息带有外壳的腹足类和双壳类底栖动物,此类动物死掉后尸体外壳分解较慢,在相对稳定环境中,易沉淀水底,采样时也难以避免被一并采集,增加了次级生产力值和 P/B 值。光滩和红树林生态系统与海湾连通,易受外界影响,季节波动较大。光滩生境大型底栖动物次级生产力和 P/B 值季节变化明显,夏季较低可能是受热带风暴的影响,降雨和河流来水增多,水体盐度降低等因素所致。冬季光滩栖息的大型底栖动物主要是多毛类,其个体大、无壳是鸟类捕食的首选^[27],而冬季同时又为鸟类繁盛季节^[28],退潮后光滩上大型底栖动物较多暴露,利于繁多鸟类的捕食,所以鸟类的捕食作用可能是光滩冬季大型底栖动物次级生产力较低的主要原因。红树林生境大型底栖动物次级生产力和 P/B 值秋冬季较高,春季稍低,夏季出现最低值。夏季降低可能也是受热带风暴的影响,水体盐度降低等因素所致。红树林生境栖息较多的蟹类、虾类和滩涂鱼,秋季是其形体最大的季节,这可能是次级生产力和 P/B 秋季升高的主要因素。

2.2.2 群落优势种的季节变化

引用优势度指数公式对 4 种生境采集到的大型底栖动物进行优势度计算,以优势度大于 0.02 为优势种,

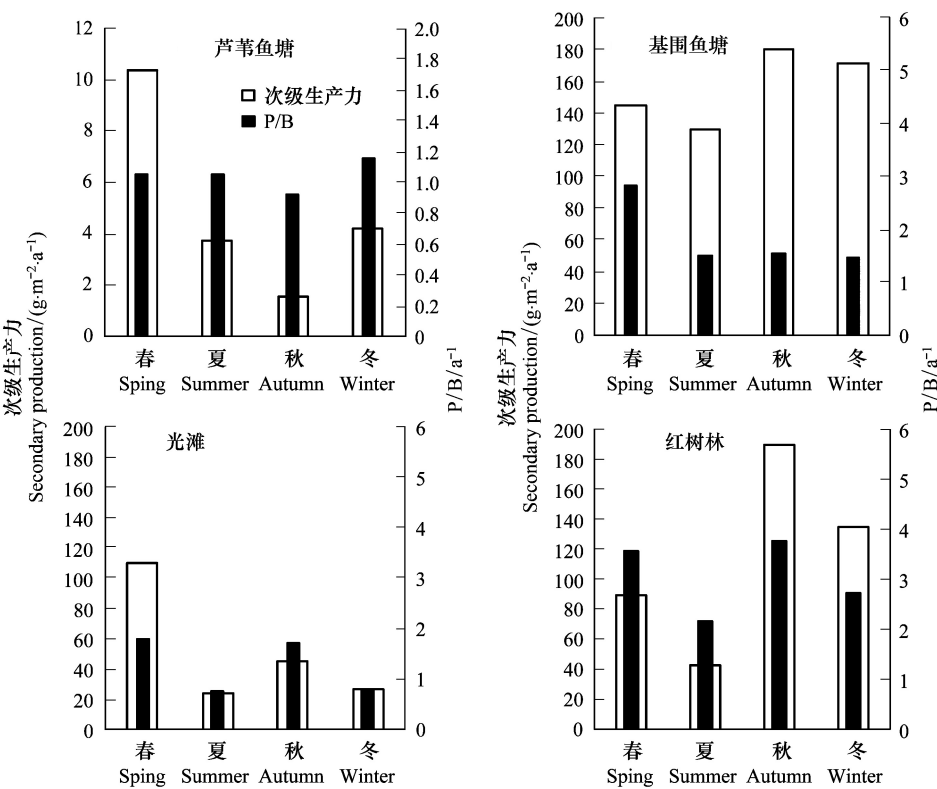


图2 深圳湾保护区四种生境大型底栖动物生产力和 P/B 值的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of macrobenthic secondary production and ration of P/B in Shenzhen Bay

对 4 种生境的优势种季节变化进行分析,结果如表 3 所示。

表 3 4 种生境类型的大型底栖动物优势种的季节变化

Table 3 The Seasonal variation of macrobenthic dominance in four habitats of Shenzhen Bay

生境类型 Habitat types	优势种 (优势度 $D > 0.02$) The dominance ($D > 0.02$)			
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
芦苇鱼塘 Reed beds	珠带拟蟹守螺 (0.36) <i>Cerithidea cingulata</i>	珠带拟蟹守螺 (0.43) <i>Cerithidea cingulata</i>	无	瘤拟黑螺 (0.27) <i>Melaniodes tuberculata</i>
基围鱼塘 Gei wai ponds	斜肋齿蜷 (0.75) <i>Sermyla riqueti</i>	斜肋齿蜷 (0.55) <i>Sermyla riqueti</i>	斜肋齿蜷 (0.58) <i>Sermyla riqueti</i>	斜肋齿蜷 (0.76) <i>Sermyla riqueti</i>
光滩 Mudflats	无	圆田螺 (0.05) <i>Cipangopaludina chinensis</i>	斜肋齿蜷 (0.16) <i>Sermyla riqueti</i>	腺带刺沙蚕 (0.23) <i>Nereis glandicincta</i> 斜肋齿蜷 (0.02) <i>Sermyla riqueti</i>
红树林 Mangrove	无	米氏耳螺 (0.09) <i>Ellobium aurismidae</i>	米氏耳螺 (0.14) <i>Ellobium aurismidae</i>	乌氏招潮蟹 (0.03) <i>Uca urvillei</i>

结合优势种的变化,分析次级生产力和 P/B 值的变化,结果发现芦苇鱼塘春夏季优势种为珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata*,秋季无优势种,群落波动较大,冬季 P/B 值较其他季节高,整个群落底栖动物快速繁殖,使得珠带拟蟹守螺的优势地位丧失,被瘤拟黑螺 *Melaniodes tuberculat* 取代。基围鱼塘四季优势种一致为斜肋齿蜷 *Sermyla riqueti*,群落种类组成较为稳定,所以次级生产力和 P/B 值波动不大。光滩裸露受潮汐影响最严重,春季次级生产力较高,无优势种,夏季优势种为圆田螺 *Cipangopaludina chinensis*,是淡水螺,可能是夏季热带风暴,带来的雨量增多,水质盐度变小,对光滩区的大型底栖动物的物种组成和次级生产力影响所致。秋季斜肋齿蜷成为优势种,而进入冬季,多毛类腺带刺沙蚕 *Nereis glandicincta* 成为优势种,优势度远大于斜肋齿蜷,说明光滩大型底栖动物群落的种类组成四季变动较大,优势种的更替也可能在一定程度上影响了光滩大

型底栖动物的次级生产力和 P/B 值的波动。红树林生境春季无优势种,夏秋季为米氏耳螺 *Ellobium aurismidae*,冬季为乌氏招潮蟹 *Uca urvillei*,但四季优势种的优势度均较小,优势种的优势情况不显著,而红树林生境的大型底栖动物次级生产力和 P/B 值常年较高,说明可能红树林生境的大型底栖动物种类间维持得较为平衡,相对稳定。

2.2.3 生物多样性的季节变化

引用香农-威纳(Shannon-Wiener index)多样性指数公式计算 4 种生境的大型底栖动物的生物多样性指数,结果如图 3 所示。

芦苇鱼塘的生物多样性除春季较高外,其余季节均最低,可能是因为芦苇根茎在春季大量发芽,可为大型底栖动物提供丰富的食物,促进了大型底栖动物的生物多样性增加,其他季节,芦苇的繁茂生长吸收底泥中大量养分和氧气,不利于底栖动物的栖息。基围鱼塘大型底栖动物的生物多样性指数一年四季均较小,且变化不大,可能是因为基围鱼塘四周封闭,水体较深,受外界干扰小,栖息物种单一,主要为软体动物类。光滩生境大型底栖动物的生物多样性四季均显著高于芦苇鱼塘和基围鱼塘,而仅低于红树林生境,光滩与红树林生境相邻连通海湾,同受潮汐影响,说明流动的海水和潮汐作用可能在一定程度上有利于促进生物多样性。光滩生物多样性呈现春冬季较高,夏季较低,可能也是因为热带风暴的影响而降低了生物多样性。红树林生境生物多样性指数四季均显著高于其他 3 种生境,说明红树林生境对大型底栖动物的生物多样性有显著的促进作用。出现夏季最低,秋季最高的季节波动,可能是因为夏季

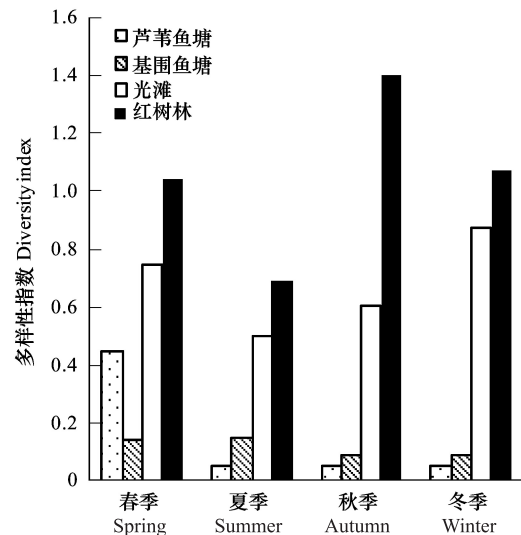


图 3 4 种生境型大型底栖动物生物多样性的季节变化

Fig. 3 The Seasonal variation of macrobenthic diversity in four habitats of Shenzhen Bay

热带风暴的影响,致不少底栖动物死亡,采集到的大型底栖动物减少,而降低了生物多样性,同时热带风暴的破坏性影响也刺激了复杂生态系统底栖动物的繁殖,秋季环境趋于稳定,生物多样性迅速增加,增加幅度显著高于其他 3 种生境,这同时也说明,红树林生境的大型底栖动物群落恢复力最强,红树林生态系统最稳定。

2.3 整个保护区年次级生产力估算及展望

根据梁素娟等^[19]2008 年用 Landsat5 的卫星遥感图解译保护区内的 4 种生境类型的面积。依据各生境类型的大型底栖动物平均次级生产力数值:红树林年均次级生产力为 $114.29 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,基围鱼塘为 $148.32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,光滩为 $93.84 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。分别将各生境的年均次级生产力乘以各生境类型的面积,由此计算得到红树林区大型底栖动物的次级生产力为: $1.17 \times 10^5 \text{ kg}$ 去灰干重,基围鱼塘为 $8.30 \times 10^4 \text{ kg}$ 去灰干重,光滩为 $5.81 \times 10^4 \text{ kg}$ 去灰干重,整个深圳湾红树林湿地大型底栖动物的年生产力大约为 $2.58 \times 10^5 \text{ kg}$,即深圳湾红树林保护区大型底栖动物的次级生产力大约为 259 t 去灰干重。

该红树林区的次级生产力值远低于湛江红树林保护区红树林区年大型底栖动物的生产力 $1.96 \times 10^6 \text{ kg}$ 去灰干重,整个湛江红树林保护区红树林区的面积为 $1.74 \times 10^8 \text{ m}^2$ ^[29],而深圳湾红树林区的大型底栖动物年平均生产力为 $11.25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[30],单位面积年均次级生产力是湛江红树林区的 10.16 倍,但因保护区中红树林面积只是湛江红树林保护区面积的 0.0059 倍,导致深圳湾红树林区的次级生产力低于湛江红树林保护区近 8 倍。

据 1986—2008 年期间土地利用的动态变化,深圳红树林面积增加 49.70 hm^2 ,光滩面积减少了 42.22 hm^2 ,基围鱼塘减少了 22.20 hm^2 ,陆地植被、建筑裸地面积分别增加 $25.82, 11.46 \text{ hm}^2$ ^[19]。陆地和裸地的增

加,光滩和基围鱼塘的大面积减少,对于整个保护区生态系统维持高级生产力造成威胁,而对以大型底栖动物为食的珍稀鸟类造成直接的食物骤减,生态系统中的物质和能量流动的损失。同时大型底栖动物的减少,降低了对浮游生物、底栖藻类和有机碎屑的取食,极可能间接引发水体富营养化,不利于生态系统的健康和稳定。基围鱼塘大型底栖动物虽种类单一,但次级生产最高,利于维持生态系统较高的物质和能量,光滩生境是鸟类取食的主要场所,红树林生境对大型底栖动物周转速率和物种丰富度有明显促进作用,利于维持生态系统的生物多样性和稳定性,所以都应加强保护,以降低生境陆地化对生态系统造成的威胁。

3 结论与展望

红树林生境的大型底栖动物群落相对于其他 3 种生境,年均次级生产力较高,P/B 值最高,生物多样性也最高,由夏季到秋季次级生产力、P/B 值和生物多样性的显著增加,都说明红树林生态系统抵抗力和恢复力最高,生态系统最稳定。红树林生境促进了大型底栖动物的生物多样性,在一定程度上可以增加动物群落的次级生产力,动物生命的周转速率,进而可以增加生态系统营养的保持力和生态系统的稳定性,对于缓解城市化对湿地生态系统造成的威胁具有重大意义。近 20a 来深圳红树林自然保护区陆地植被和建筑裸地面积增加了 37.28 hm²,占保护区总面积的 10.2%,生境陆地化较为严重。相对于其他红树林保护区,深圳湾红树林面积相对较小,因此在保护原生态红树林的前提下,适当增加红树林的面积,对于维持生态系统的长久健康稳定发展具有积极意义。

致谢:鉴定分类大型底栖动物得到深圳大学生命科学学院李荔副教授的帮助;取样分析工作得到深圳大学高尔夫学院李存焕副教授及实验团体人员的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Chapman V J. Ecosystems of the World 1: Wet Coastal Ecosystems. New York: Elsevier Scientific Publishing Co, 1977: 1-29.
- [2] Ashton E C, Macintosh D J. Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 2002, 166(1/3): 111-129.
- [3] Macintosh D J, Ashton E C, Havanon S. Mangrove rehabilitation and intertidal biodiversity: a study in the Ranong mangrove ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55(3): 331-345.
- [4] Gesamp. (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/ UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Reducing Environmental Impacts of Coastal Aquaculture. GESAMP Reports and Studies No. 47, 1991.
- [5] Marshall N. Mangrove conservation in relation to overall environmental considerations. *Hydrobiologia*, 1994, 285(1/3): 303-309.
- [6] He F L. Study on ecological restoration of mangrove ecosystem. *Environmental Science and Technology*, 2004, 27(4): 81-83.
- [7] Fang Y, Ni J R, Cai L Z. Dynamic environmental assessment for wetland sediments —(II) Application. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(6): 670-675.
- [8] Lee S Y. Mangrove macrobenthos: assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 2008, 59(1/2): 16-29.
- [9] Ma J, Fu R S. Progress of ecology research on macrobenthos. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010, (2): 78-81.
- [10] Gong Z J, Xie P, Yan Y J. Theories and methods of studies on the secondary production of zoobenthos. *Journal of Lake Sciences*, 2001, 13(1): 79-88.
- [11] Dolbeth M, Cardoso P G, Grilo T F, Bordalo M D, Raffaelli D, Pardal M A. Long-term changes in the production by estuarine macrobenthos affected by multiple stressors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 92(1): 10-18.
- [12] Dittmann S. Abundance and distribution of small infauna in mangroves of Missionary Bay, north Queensland, Australia. *Revista de Biologia Tropical*, 2001, 49(2): 535-544.
- [13] Alfaro A C. Benthic macro-invertebrate community composition within a mangrove/seagrass estuary in northern New Zealand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 66(1/2): 97-110.
- [14] Lee S Y, Kwok P W. The importance of mangrove species association to the population biology of the sesarmine crabs *Parasesarma affinis* and *Perisesarma bidens*. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10(3): 215-226.
- [15] Colpo K D, Negreiros-Fransozo M L. Reproductive output of *Uca vocator* (Herbst, 1804) (Brachyura, Ocypodidae) from three subtropical mangroves in Brazil. *Crustaceana*, 2003, 76(1): 1-11.
- [16] Dolbeth M, Cardoso P G, Ferreira S M, Verdelhos T, Raffaelli D, Pardal M A. Anthropogenic and natural disturbance effects on a macrobenthic

- estuarine community over a 10-year period. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 54(5): 576-585.
- [17] Yu Z S, Zhang Z N, Han J. Primary study on secondary production of macrobenthos in Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 867-871.
- [18] Li X Z, Wang H F, Zhang B L. The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay, Shandong. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(6): 527-533.
- [19] Liang S J, Shi X H, Zhang X W. Study on dynamic changes of land types of Futian Mangrove Reserve. *Forest Resources Management*, 2009, (4): 74-78.
- [20] Brey T. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Meeresforsch*, 1990, 32(4): 329-343.
- [21] Waters T F. Secondary production in inland waters // Macfadyen A, ed. *Advances in Ecological Research*. London: Academic Press, 1977: 91-164.
- [22] Shen G Y, Shi B Z. *Marine Ecology*. 2th ed. Beijing: Science Press, 2002: 159-159.
- [23] Tumbiolo M L, Downing J A. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. *Marine Ecology-Progress Series*, 1994, 114(1/2): 165-174.
- [24] Warwick R M, Price R. Macrofauna production in an estuarine mud-flat. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1975, 55(1): 1-18.
- [25] Lü X M, Fang S H, Zhang Y P, Wu P R. Community structure and secondary production of macrobenthos in the intertidal zone of Haitan Strait, Fujian Province. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(3): 428-435.
- [26] Liang J Y, Cai L Z, Zhou X P, Yang J, Liu W M. Macrobenthic community and its secondary production on the intertidal sandflat in Shenhui Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2008, 27(4): 466-471.
- [27] Cai L Z, Lin P, Liu J J. Quantitative dynamics of three species of large individual polychaete and environmental analysis on mudflat in Shenzhen Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(3): 110-116.
- [28] Wang Y J, Lin P, Song X J. Annual dynamics of waterbirds at futian mangrove zone deep bay, Shenzhen, China. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 1998, 37(1): 122-130.
- [29] Lin K Y, Zhang Q M, Jian S G, Wang R J, Shen W J, Lu H F, Ren H, Xu F H. Mangrove resource and sustainable development at Zhanjiang. *Ecologic Science*, 2006, 25(3): 222-225.
- [30] Tang Y J. Study on the Community Ecology of Macrobenthic Fauna in the Wetland of the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve [D]. Xiamen: Zhongshan University, 2007.

参考文献:

- [6] 何奋琳. 深圳福田红树林生态系统生态恢复对策研究. *环境科学与技术*, 2004, 27(4): 81-83.
- [7] 方圆, 倪晋仁, 蔡立哲. 湿地泥沙环境动态评估方法及其应用研究——(II)应用. *环境科学学报*, 2000, 20(6): 670-675.
- [9] 马骏, 付荣恕. 大型底栖动物生态学研究进展. *山东农业科学*, 2010, (2): 78-81.
- [10] 龚志军, 谢平, 阎云君. 底栖动物次级生产力研究的理论与方法. *湖泊科学*, 2001, 13(1): 79-88.
- [17] 于子山, 张志南, 韩洁. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 2001, 31(6): 867-871.
- [18] 李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. *海洋与湖沼*, 2005, 36(6): 527-533.
- [19] 梁素娟, 史秀华, 张信文. 福田红树林保护区土地类型的动态分析. *林业资源管理*, 2009, (4): 74-78.
- [22] 沈国英, 施并章. *海洋生态学* (第二版). 北京: 科学出版社, 2002: 159-159.
- [25] 吕小梅, 方少华, 张跃平, 吴萍茹. 福建海坛海峡潮间带大型底栖动物群落结构及次级生产力. *动物学报*, 2008, 54(3): 428-435.
- [26] 梁俊彦, 蔡立哲, 周细平, 杨洁, 刘伟明. 深沪湾沙滩潮间带大型底栖动物群落及其次级生产力. *台湾海峡*, 2008, 27(4): 466-471.
- [27] 蔡立哲, 林鹏, 刘俊杰. 深圳河口泥滩3种大型多毛类的数量动态及其环境分析. *海洋学报*, 2000, 22(3): 110-116.
- [28] 王勇军, 林鹏, 宋晓军. 深圳湾福田红树林湿地水鸟的周年动态. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1998, 37(1): 122-130.
- [29] 林康英, 张倩娟, 简曙光, 王瑞江, 申卫军, 陆宏芳, 任海, 许方宏. 湛江市红树林资源及其可持续利用. *生态科学*, 2006, 25(3): 222-225.
- [30] 唐以杰. 湛江红树林自然保护区湿地大型底栖动物群落生态学研究 [D]. 厦门: 中山大学, 2007.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元